

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

LUCAS BORGES MLYNARCZUK

**APLICAÇÃO DE TERMOGRAFIA PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA
EM PAINÉIS ELÉTRICOS**

**PONTA GROSSA
DEZEMBRO/2018**

LUCAS BORGES MLYNARCZUK

**APLICAÇÃO DE TERMOGRAFIA PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA
EM PAINÉIS ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Felipe Mezzadri, Dr.

**PONTA GROSSA
DEZEMBRO/2018**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DE TERMOGRAFIA PARA MANUNTEÇÃO PREDITIVA EM PAINÉIS ELÉTRICOS

por

LUCAS BORGES MLYNARCZUK

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 06 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Felipe Mezzadri

Orientador

Prof. Dr. Frederic Conrad Janzen

Membro titular

Prof. Dr^a. Marcella Scoczynski Ribeiro Martins

Membro titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui

Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Felipe Mezzadri

Coordenador de Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o qual me deu força e sabedoria para ultrapassar esse grande desafio.

O apoio em casa é sempre fundamental não importa qual seja a circunstância, portanto, não posso deixar de agradecer aos meus pais e a minha irmã, pois eu vi todo o esforço que fizeram para que eu pudesse hoje estar concluindo uma etapa tão importante.

À minha namorada Jordana, pela compreensão em todos os finais de semana e feriados, nos quais precisei me dedicar aos estudos, trabalhos e provas, sem nunca ter hesitado em me apoiar nesses momentos.

Gostaria de lembrar também de todos os colegas de curso, fiz grandes amigos durante essa trajetória.

Não poderia esquecer também de todos os colegas com os quais trabalhei durante o período do curso. Tenho certeza que muitas experiências práticas foram de grande importância para o meu desenvolvimento.

Enfim, um muito obrigado especial a todos que participaram de alguma maneira dessa jornada.

RESUMO

MLYNARCZUK, Lucas Borges. **Aplicação de termografia para manutenção preditiva de painéis elétricos**. 2018. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso Tecnologia em Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Este trabalho propõe a aplicação da inspeção termográfica para manutenção preditiva de painéis elétricos. A proposta tem como base, utilizar um equipamento termovisor para detectar pontos quentes em sistemas elétricos, a fim de reduzir o número de manutenções corretivas emergenciais. São apresentados os principais componentes que compõem um painel elétrico, os critérios de classificação de anomalias térmicas, além de um estudo sobre como especificar uma câmera termográfica, aplicação de técnicas de planejamento, bem como alguns termogramas adquiridos e suas tratativas.

Palavras-chave: Termografia, Câmera termográfica. Painéis elétricos. Planejamento. Manutenção preditiva. Termogramas. Anomalias térmicas.

ABSTRACT

MLYNARCZUK. Lucas Borges. **Application of thermographic inspection for predictive maintenance of electrical panels**. 40 f. Final Course Work (Higher Course of Technology in Industrial Automation). – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa. 2018.

This work proposes the application of thermographic inspection for predictive maintenance of electrical panels. The proposal is based on the use of a thermal imager to detect hotspots in electrical systems, in order to reduce the number of emergency corrective maintenance. The main components of electrical panels, the criteria for classification of thermal anomalies, a study on how to specify a thermographic camera, application on planning techniques, as well as some acquires thermograms and their treatments are presented.

Keywords: Thermographic, Thermographic camera. Electrical panels. Planning. Predictive maintenance. Thermograms. Thermal anomalies.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Critério delta T.....	18
Quadro 2: Características do equipamento utilizado.....	27
Quadro 3: Plano de ação 5W1H.....	28
Quadro 4: Dados obtidos das medições.	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Espectro eletromagnético.....	20
Figura 2: Imagem termográfica de disjuntores termomagnéticos	23
Figura 3: Imagem térmica de um painel com contatores.....	24
Figura 4: Imagem térmica do transformador.	25
Figura 5: Imagem térmica de fonte auxiliar.	26
Figura 6: Imagem térmica de um módulo remoto de CLP ET200.	26
Figura 7: Imagem térmica do PLC 300.....	27
Figura 8: Painel elétrico 3QT102.....	29
Figura 9: Detalhe do aquecimento no disjuntor.	29
Figura 10: Painel 3SATS501.....	30
Figura 11: Imagem térmica da chave de transferência.	30
Figura 12: Detalhe do painel 3CAP501.....	31
Figura 13: Detalhe do aquecimento no capacitor C1.	31
Figura 14: Painel do retificador de tensão.....	32
Figura 15: Imagem térmica do retificador	32
Figura 16: Resultados da inspeção termográfica.	33
Figura 17: Modelo de relatório utilizado.	34
Figura 18: Número de quebras de máquinas.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	ESTADO DA ARTE	11
1.2	PROBLEMA.....	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	12
1.5	METODOLOGIA.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	TERMOGRAFIA	14
2.1.1	Termografia Qualitativa	15
2.1.2	Termografia Quantitativa.....	15
2.2	MANUTENÇÃO PREDITIVA EM PAINÉIS ELÉTRICOS.....	15
2.3	PLANEJAMENTO.....	16
2.4	CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS POR SOBRETENPERATURA.....	17
2.4.1	Máxima Temperatura Admissível (MTA).....	17
2.5	ESPECIFICAÇÃO DA CÂMERA TERMOGRÁFICA;.....	18
2.5.1	Resolução	18
2.5.2	Sensibilidade Térmica	19
2.5.3	Precisão	19
2.5.4	Comprimento De Onda	20
2.5.5	Campo De Visão	21
2.5.6	<i>Frame Rate</i>	21
3	DESENVOLVIMENTO	22
3.1	LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DOS PAINÉIS ELÉTRICOS;.....	22
3.1.1	Disjuntores Termomagnéticos.....	22
3.1.2	Disjuntores De Caixa Moldada	22
3.1.3	Contatores.....	23
3.1.4	Transformadores	24
3.1.5	Fontes Auxiliares.....	25
3.1.6	CLP's.....	26
3.2	EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	27
3.3	PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DAS MEDIÇÕES.....	28

3.4 MEDIÇÕES REALIZADAS COM O TERMOVISOR.....	29
4 RESULTADOS	33
4.1 ANÁLISE DOS DADOS	33
3.6 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DA INSPEÇÃO;	33
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	35
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Desde que iniciou a modernização dos processos fabris utilizando de máquinas, muitas pessoas dedicaram-se a desenvolver meios para organizar os processos produtivos, visando otimizar a produção. A partir desse ponto, surgiram duas das principais filosofias que abordam formas de organizar processos industriais, o taylorismo e o fordismo. (MORO, 2007).

Olhando de maneira mais detalhada, identificamos que o taylorismo possui uma tendência de que o trabalhador acompanhe o ritmo da máquina, minimizando as paradas e interrupções, fazendo com que, nesse sistema de produção a divisão e a subdivisão de tarefas sejam predominantes, valorizando também instruções e procedimentos mecânicos, que busquem eliminar a necessidade de raciocínio dos operários. (MORO, 2007).

Alguns pontos são grandes indicadores da evolução da economia mundial como o aumento da tecnologia, a globalização crescendo com o avanço da internet reduzindo assim as fronteiras. Dessa forma, é necessário que a manutenção e a produção trabalhem em conjunto, possibilitando que a empresa atinja seus objetivos. Outro ponto que confirma a importância dessa integração de setores é o mercado cada vez mais acirrado e competitivo, o que força as empresas a se tornarem mais ágeis e flexíveis. (COSTA, 2013).

Existem várias divergências quanto trata-se de classificar os tipos de manutenção. Alguns autores afirmam que existem apenas duas vertentes, a manutenção preventiva e a manutenção corretiva sendo que, os demais tipos seriam derivados desses dois principais. Por outro lado, alguns autores mostram a manutenção dividida em até seis tipos: Corretiva não planejada (emergencial), corretiva planejada, manutenção preventiva, Manutenção detectiva, engenharia da manutenção e manutenção preditiva. (LIMA E CASTILHO, 2006).

Quando buscamos monitorar certos parâmetros de equipamentos visando identificar e corrigir falhas em seu princípio, estamos tratando da manutenção preditiva. (OKRASA ET LII, 1997).

Anormalidades térmicas normalmente antecedem falhas em equipamentos elétricos, transformando a medição de temperatura uma das principais ferramentas de diagnóstico e análise. (NEWPORT, 2002).

Definimos então a termografia com sendo uma técnica que possibilita a medição remota de temperatura, através da formação de termogramas (imagens térmicas) de equipamentos, máquinas, componentes e até processos produtivos. Essas informações podem ser retiradas de qualquer corpo ou material que emita radiação infravermelha, pois essa é a maneira que o termovisor realiza a sua medição. (FRAGA, 2009).

Através de técnicas como a inspeção termográfica, é possível analisar padrões e comportamentos de máquinas através da distribuição da temperatura ao longo do equipamento, sempre visando conseguir informações da condição operacional do componente para atuar na prevenção de quebras. Como a termografia pode ser realizada com a máquina em operação, é classificada como inspeção não destrutiva. (FRAGA, 2009).

1.1 ESTADO DA ARTE

Atualmente o método de manutenção utilizado em painéis elétricos são baseados nos conceitos de manutenção corretiva, tanto emergência como planejada, e também de preventiva.

Na manutenção corretiva emergencial, quando ocorre a quebra do equipamento, o setor de manutenção é acionado para que o problema seja corrigido e a máquina volte a operar. Porém essa intervenção é feita sem nenhum planejamento, aumentando assim sua duração.

Já na manutenção corretiva planejada, após a realização em uma falha ocorrida, é programada uma parada de máquina, na qual não afete a produção do fabrica, para que sejam substituídos componentes pré-determinados.

São realizados também inspeções visuais e verificações de apertos de bornes em disjuntores e contadores, sendo essa, a manutenção preventiva.

1.2 PROBLEMA

Atualmente, uma das principais causas do número elevado de paradas de máquinas passa pela não realização de trabalhos relacionados a manutenção preditiva, trazendo consigo prejuízos ao processo produtivo como atraso na produção ou até mesmo perda de parte do produto já produzido.

Trabalhos de manutenção preditiva, no caso desse projeto as inspeções termográficas, podem parecer um pouco caro a princípio, porém analisando o fato de que, predizendo as falhas, o tempo de máquina rodando eleva-se, os seus custos de implementação são viáveis a, dependendo da aplicação, um curto prazo de tempo.

A proposta desse projeto é, justamente atuar na execução de uma análise termográfica aplicada a painéis de alimentação tanto dos equipamentos de processo (máquina que atuam diretamente no produto final), como nos equipamentos de utilidades (equipamentos que dão suporte a produção) como por exemplo, sistema de ar comprimido e refrigeração.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Utilização de uma câmera termográfica que identifique “*hotspots*” de falhas, para execução de manutenção preditiva em sistemas elétricos de uma indústria com geração de relatório.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para esta proposta são:

- Levantar as variáveis dos painéis elétricos;
- Especificar a câmera termográfica;
- Planejar a execução das medições;
- Executar o trabalho de medição;
- Analisar os dados obtidos através da medição realizada;
- Elaborar relatórios;
- Comparar os resultados obtidos;

1.4 JUSTIFICATIVA

Para alcançar o alto padrão de qualidade exigido em indústrias, garantir a funcionalidade dos painéis de alimentação dos equipamentos é imprescindível.

Portanto a execução de manutenções preditivas como a termografia, análise de vibração, análise de qualidade de óleo entre outros é muito importante para manter

se a disponibilidade das máquinas próximas a 100%, ou seja, sem paradas emergências por quebras de equipamento.

Entre as principais vantagens de executar a manutenção preditiva estão:

- A redução dos impactos de procedimentos corretivos, pois as técnicas preditivas acompanham as máquinas enquanto estão em funcionamento;
- Aumento na produtividade pois os objetivos da manutenção preditiva e antecipar a quebras, evitando paradas emergências e transformando as ações de corretivas emergências para corretivas planejadas;
- Os custos relacionados à manutenção também são reduzidos ao ser executado um plano preditivo, pois esse plano irá aumentar a disponibilidade das máquinas;

1.5 METODOLOGIA

O projeto inicia se com uma metodologia exploratória, para levantar os dados relacionados aos painéis de distribuição, à correta especificação da câmera termográfica a ser utilizada e para obter conhecimento sobre métodos de planejamento para execução. Já a coleta de dados será realizada diretamente, através de medições com a câmera em campo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TERMOGRAFIA

Termografia é um método de aquisição e análise de informações térmicas, obtidas através de equipamentos de medição sem contato direto. (ENGELETRICA, 2011).

Dentre as inspeções não destrutivas, a termografia é utilizada para, através dos raios infravermelhos emitidos pelo corpo, observar seus padrões térmicos relacionando os com suas condições de operação, podendo ser aplicada tanto em máquinas como em processos produtivos. (VERRATTI, 2011).

As inspeções termográficas têm como base os raios infravermelhos emitidos por qualquer tipo de corpo, produzindo assim imagens que são chamadas de termogramas. Os raios infravermelhos são frequências eletromagnéticas emitidas por corpo que variam em proporção de acordo com a temperatura do corpo. (CABRAL, 2010).

Utilizando uma câmera térmica, a localização de regiões quentes e frias é muito facilitada. Algumas câmeras, podem fornecer termogramas em faixas de 20°C a 1500°C, fornecendo imagens de qualidade com opção de filtros que removem ruídos gerados por exemplo pela presença do sol ou outras fontes de calor no ambiente. Outro ponto favorável a utilização de termovisores remete a seu pequeno tamanho, sua leveza e grande autonomia, o que permite sua aplicação em lugares de difícil acesso. (CABRAL, 2010).

A termografia é definida como uma técnica não intrusiva e não destrutiva que apresenta a temperatura do corpo através de um termograma, obtido por uma câmera capaz de detectar os raios infravermelhos emitidos pelo corpo. As diferenças de temperatura presentes no objeto analisado formam um contraste visual na imagem sem que seja necessário o aquecimento do objeto por isso, a análise termográfica é amplamente utilizada, uma vez que permite a observação remota dos corpos. (COSTA, 2010).

A termografia ativa é a análise do comportamento do corpo nos estágios de aquecimento, quando o corpo recebe uma excitação térmica sobre sua superfície, ou resfriamento ao longo do tempo. (COSTA, 2010).

2.1.1 Termografia qualitativa

A termografia é chamada de qualitativa quando o importante é o perfil térmico e não os valores de temperatura. Com base nessa característica a termografia pode ser classificado com um método que fornece dados instantâneos. (INGRACIO, 2010).

Através da leitura qualitativa, pode se identificar a diferença de temperatura entre pontos de um equipamentos de forma eficaz, podendo ser útil no diagnóstico de problemas como deficiências de isolamento térmicos, problemas em mancais e transmissões mecânicas, falhas em isolamentos de cabos elétricos, localização de entupimentos em tubulações e outros itens que podem ser reconhecidos através da diferença de temperatura. (MEDEIROS, 2012).

2.1.2 Termografia quantitativa

O método quantitativo é, geralmente, o segundo a ser aplicado, pois incondicionalmente o primeiro a ser utilizado será a análise qualitativa. É através do método quantitativo que pode se definir o nível de gravidade da anomalia gerada pelo aquecimento do material. (INGRACIO, 2010).

2.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA EM PAINÉIS ELÉTRICOS

A análise preditiva de painéis elétricos é onde se concentra a maior porcentagem da utilização de termografia nas industriais, devido ao fato de a temperatura ser um dos principais indícios de falhas em sistemas elétricos. (CABRAL, 2010).

Problemas gerados pela relação corrente/resistência em instalações elétricas que são normalmente provocados por conexões oxidadas, com problemas de aperto, sobrecargas ou pelas falhas de componentes, serão facilmente identificados através de uma inspeção termográfica. É possível também diagnosticar problemas relacionados até mesmo ao projeto da instalação, falta de manutenção preventiva e a defeitos de montagem, pois todos esses podem ocasionar sobreaquecimentos dos equipamentos elétricos. (CABRAL, 2010).

Essa inspeção pode detectar problemas antes que eles ocorram possibilitando assim a execução de uma ação corretiva evitando a quebra de máquina. (MEDEIROS, 2012). Além disso, é uma técnica considerada segura, devido a distância na qual o trabalho é executado.

A termografia quando aplicada em sistemas elétricos como subestações, linhas de transmissão e transformadores, torna-se um item essencial em programas de manutenção preditiva, pois identifica potenciais falhas nesses sistemas.

Na maioria dos componentes integrantes de sistemas elétricos, sendo eles de baixa, média ou alta tensão, um aumento na resistência ôhmica em função de mau contato, oxidação ou corrosão provoca o aumento da temperatura. Durante a inspeção termográfica, esse aumento na temperatura será detectado e registrado. Portanto, essas alterações térmicas que podem comprometer não só o componente, mas todos os sistemas e processos envolvidos podem ser tratadas de maneira programada. (JÚNIOR, 2010).

A norma NBR 15572 (ABNT, 2013), em sua última revisão, descreve os envolvidos na análise termográfica, onde, no item 5 – Responsabilidades de pessoas, define:

- Inspetor termografista: responsável pela execução da inspeção e que possui conhecimentos sobre os componentes analisados; é portanto, apto para executar e interpretar os resultados; consegue operar corretamente o termovisor seguindo todas as normas de segurança (NR 10) e da empresa na qual a inspeção é realizada.
- Assistente qualificado: pessoa que consegue operar corretamente o equipamento a ser inspecionado e segue os requisitos previstos nas normas de segurança com a NR 10.
- Usuário final: pessoa responsável pelas ações que serão tomadas e suas possíveis consequências, como os resultados obtidos da inspeção e que geralmente indica o assistente qualificado que tenha conhecimento do histórico e da operação dos equipamentos a serem analisados pelo termografista.

2.3 PLANEJAMENTO

Atualmente, para a correta gestão da manutenção, é preciso possuir conhecimentos em diversas áreas de ação, como gestão pessoal, planejamento, engenharia tanto mecânica quanto elétrica, métodos de lubrificação, calibração, gestão de materiais, informática, técnicas de análise de falha etc. (PINTO, 2002).

Para o planejamento é necessário que o conhecimento técnico da máquina atue como base, pressupondo-se que existam árvores de máquinas, codificação e manuais técnicos. Abrange desde a elaboração do plano de manutenção, até a preparação e programação das atividades. (PEREIRA, 2009).

A manutenção preditiva atua na detecção das alterações que causem não conformidades no equipamento. Para conferir se às informações adquiridas traduzem alguma instabilidade no equipamento, há necessidade de estabelecer um diagnóstico sobre o equipamento, consistindo no monitoramento de seus componentes.

Para a elaboração desse diagnóstico, o termografista ou técnico de manutenção deverá entender a máquina e seu princípio de funcionamento sendo assim apto para descobrir a origem das falhas, bem como suas consequências para o processo produtivo (MORO, 2007).

Para o passo seguinte é necessário que os envolvidos no problema saibam qual a causa raiz que causa à geração de falhas e a deterioração dos componentes além de entender como a falha atua nos equipamentos associados. (MORO, 2007).

2.4 CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS POR SOBRETENPERATURA

2.4.1 Máxima temperatura Admissível (MTA)

O objetivo da termografia é a formação de termogramas que demonstrem os pontos quentes e sobreaquecimentos anormais em máquinas que normalmente não apresentam grande variação de temperatura, quando analisadas em condições de operação normal. (KERSUL, 2014).

O termografista deverá conhecer qual a temperatura máxima sob a qual o componente inspecionado pode operar sem causar nenhuma anomalia ao próprio equipamento ou ao processo em que está inserido. (KERSUL, 2014).

A norma NBR 15572:2013, cita que o usuário final pode utilizar critérios próprios para avaliar a severidade da anomalia térmica, ou eventualmente adotar os parâmetros do fabricante como base.

Esse trabalho será fundamentado no critério da norma *Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment*. Que descreve que a anomalia térmica pode ser classificada em:

- Valor estabelecido pelo fabricante em condições normais. (MTA).

- Comparação com outro elemento similar analisando a variação de temperatura (Delta T);
- Um valor estabelecido com base no histórico de operação do equipamento;

O Quadro 1, demonstra a classificação de anomalias de acordo com os critérios de Delta T, segundo a Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment. (2008).

Quadro 1: Critério delta T.

PRIORIDADE	DELTA T	AÇÃO RECOMENDADA
4	1°C a 10°C	Medidas corretivas devem ser tomadas no próximo período de manutenção.
3	>10°C a 20°C	Medidas corretivas com agendamento
2	>20°C a 40°C	Medidas corretivas assim que possível
1	>40°C	Medidas corretivas imediatas

Fonte: Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.

2.5 ESPECIFICAÇÃO DA CÂMERA TERMOGRÁFICA;

Existem disponíveis no mercado, câmeras para as mais diversas aplicações que vão desde a medicina veterinária até a utilização em fins militares ou para localização de corpos em meio a fumaça pelo corpo de bombeiros.

Partindo desse princípio, existem diversos termovisores específicos para cada aplicação, assim como para inspeções em sistemas elétricos possuímos um tipo de câmera termográfica mais condizente com a utilização. Os parâmetros analisados para especificação do equipamento são: resolução, sensibilidade térmica, precisão de medição, qual o comprimento de onda que o equipamento opera, campo de visão, *frame rate*.

2.5.1 Resolução

A resolução trata se da qualidade da imagem que será formada pelo termovisor. Por exemplo, os números 320 x 240 significam o número de pontos por polegadas, chamados Pixel, que compõem a imagem térmica. Através destes números, conhecemos o número de pixels de uma imagem, neste caso multiplicamos 320 por 240 e encontramos 76.800 pixels.

Basicamente as câmeras termográficas são separadas em três grupos de acordo com sua resolução:

- Baixa resolução: Termovisores com resoluções de 160 x 120 ou de 120 x 160, formando imagens de 19.200 pixels;
- Média resolução: Termovisores com resoluções de 320 x 240 ou 240 x 320, formando imagens de 76.800 pixels;
- Alta resolução: Termovisores com resoluções de 640 x 480 ou 480 x 640, formando imagens com 300.000 pixels;

Certamente, quanto maior o número de pixels, melhor será a imagem.

2.5.2 Sensibilidade térmica

A sensibilidade térmica é a temperatura mínima detectável pela câmera termográfica. Os detectores mais utilizados utilizam valores entre 0,1 a 0,06°C. Quanto menor este valor, mais precisa se torna a medição de temperatura. Por exemplo, em aplicações médicas, não podemos utilizar um detector com temperatura mínima detectável maior que 0,5°C, pois caso contrário, seria muito difícil detectar um problema relacionado com uma pequena alteração da temperatura.

Outro fator relacionado à sensibilidade térmica é o NETD (*Noise equivalent Temperature difference*), que na verdade é um filtro para baixas temperatura, garantindo assim a fidelidade das medições. Existem três classificações de termovisores com relação ao NETD:

- Baixa resolução: Termovisores com NETD igual a 0,1°C;
- Média resolução: Termovisores com NETD igual à 0,05°C;
- Alta resolução: Termovisores com NETD igual à 0,01°C;

2.5.3 Precisão

Precisão é o grau de concordância de uma medição realizada diversa vezes em condições de repetibilidade, ou seja, mantendo o mesmo sistema de medição, o local onde as medições são realizadas, mesmos procedimentos, operadores e sistemas de medição ou então em reprodutibilidade tendo procedimentos, operadores, sistemas de medição, condições e local onde são realizadas a medições diferentes. A precisão é uma medida de dispersão e geralmente significa um desvio padrão,

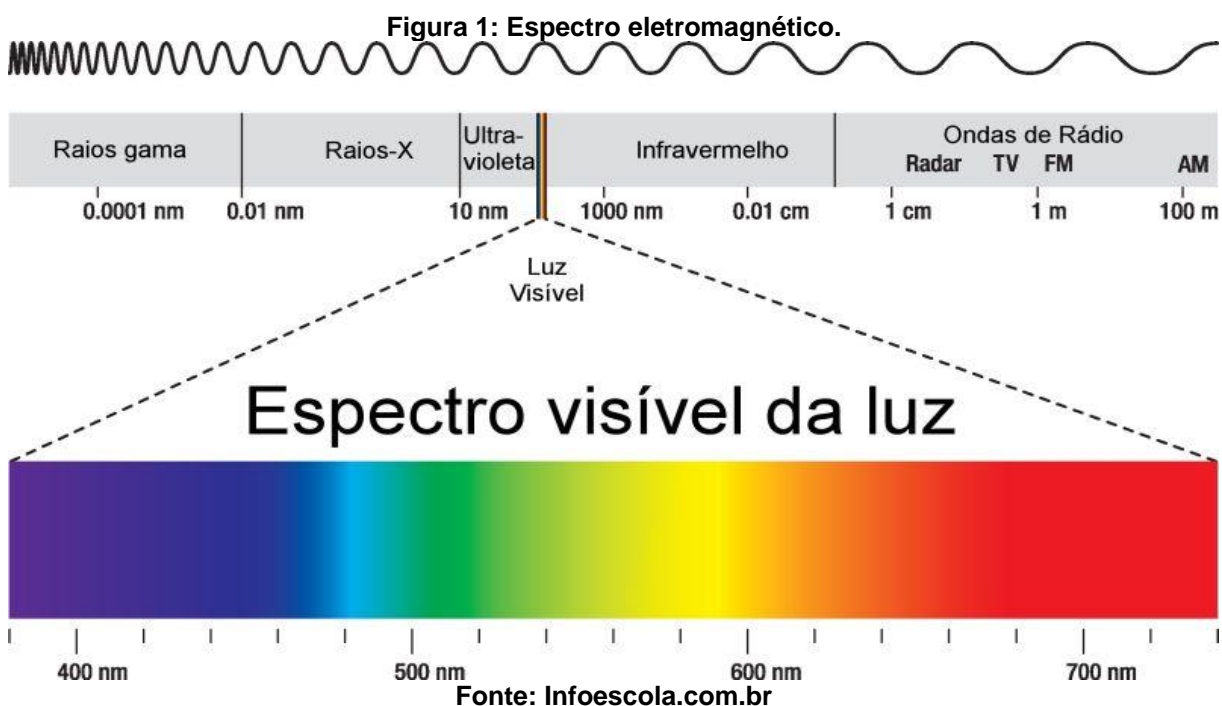
variância ou coeficiente de variação. A precisão está ligada a um erro aleatório. (UFRJ, 2015).

O detector deverá garantir uma precisão estável e confiável numa faixa de temperatura de trabalho. Geralmente os detectores garantem uma precisão de +/- 2% numa faixa de temperatura de trabalho de -40°C até 50°C.

2.5.4 Comprimento de onda

O comprimento de onda tem grande influência para a especificação de um equipamento termovisor, pois dependendo da sua aplicação, podemos trabalhar com comprimentos de onda distintos. Para entender essa classificação, é necessário conhecer o espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda e frequência, cada tipo de onda contida no espectro possui seu comprimento de onda e frequência específica. Na Figura 1, vemos uma imagem que demonstra algumas regiões do espectro eletromagnético, seu comprimento de onda e respectivas frequências.



Percebe-se, ao analisar a Figura 1, que quanto maior o comprimento de onda, menor é sua frequência e conseqüentemente menor a sua energia. É o caso das frequências de rádio, que possuem baixa energia. Já para os raios gama e X, estes possuem um menor comprimento de onda, alta frequência e, portanto, grande energia.

Para o termovisor, a parte do espectro que será importa está logo acima do espectro visível, na faixa de 10cm (1000 microns) até $7,5 \times 10^{-5}$ cm (0,75 micron), chamado de espectro infravermelho. Dentro desse, as câmeras termográficas são classificadas em câmeras de ondas curtas e câmeras de ondas longas.

- Ondas curtas: Trabalham nas faixas de comprimento de onda entre 2 a 5 microns, e são indicadas para inspeção em equipamentos de alta tensão, onde estão presentes fenômenos como o efeito corona e a ionização do ar, efeitos que não apresentam aquecimento nos componentes.
- Ondas longas: Operam nos comprimentos de onda entre 8 e 14 microns, sendo empregadas em equipamentos elétricos de baixa tensão que geram aquecimento.

2.5.5 Campo de visão

Outra característica que deve ser levada em conta para especificação de um termovisor é seu campo de visão, pois através dessa informação, saberemos qual menor objeto que pode ser medido, o menor objeto que pode ser visualizado além de informações sobre qual a distância máxima de medição para o objeto.

O campo de visão (FOV) é dividido basicamente em dois, o campo de visão instantâneo (iFOV) que nos apresenta qual a resolução espacial da câmera termográfica, ou seja, quanto menor o iFOV mais distante do objeto. E o campo de visão de medição (mFOV), que demonstra qual a distância máxima para o objeto a ser medido.

2.5.6 *Frame Rate*

O *frame rate* trata se de qual a taxa de frequência de quadro da imagem gerado no termovisor. Basicamente os equipamentos são divididos em câmeras de 9 Hz, utilizadas para medição de objetos estáticos como painéis elétricos, e câmeras termográficas de 30 Hz e 60 Hz, com maior aplicação em análises de objetos dinâmicos e para gravação de vídeos.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DOS PAINÉIS ELÉTRICOS;

A câmera termográfica apresenta a temperatura da superfície do corpo, sendo assim, é crucial conhecer o material que compõe o objeto a ser analisado e entender sua forma de funcionamento.

Um painel elétrico é composto por vários tipos de componentes com características e funcionalidades diferentes trabalhando em conjunto, em funções como controle de variáveis de processo (temperatura, nível, pressão, vazão etc.), atuando no acionamento automático ou manual de válvulas, motores, bombas e atuadores hidráulicos e pneumáticos.

Como são vários componentes distintos, existem diferentes níveis aceitáveis de temperatura para que possam operar de maneira correta, evitando falhas e aumentando sua vida útil. A seguir será demonstrado alguns componentes encontrados nos painéis que passaram pela inspeção termográfica e quais são os parâmetros para se analisar a temperatura nesses componentes.

3.1.1 Disjuntores Termomagnéticos

A temperatura ideal de trabalho para disjuntores termomagnéticos varia conforme o fabricante e de acordo com a corrente nominal do disjuntor, desse modo, quanto mais corrente o disjuntor suportar, mais aquecido ele irá trabalhar e não necessariamente isso será tido como um problema.

Os disjuntores analisados são, em sua maioria Schneider e, portanto, usando como base o catálogo do fabricante, foi determinado que para disjuntores tanto unipolares, bipolares ou tripolares de 6A à 63A as temperaturas podem variar de -25°C até 60°C. Já para disjuntores de 70AA à 125AA, a temperatura pode variar de -5°C até 55°C.

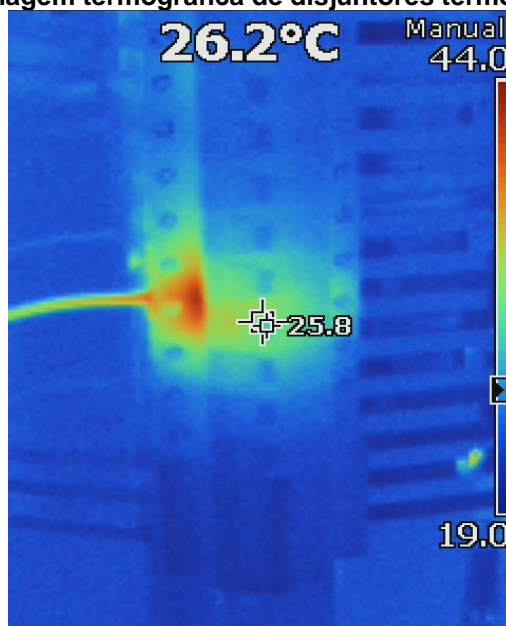
3.1.2 Disjuntores de caixa moldada

O mesmo critério dos disjuntores termomagnéticos é válido para os disjuntores de caixa moldada, ou seja, suas temperaturas de trabalho variam de acordo com o fabricante e corrente nominal do disjuntor. Os disjuntores analisados são do fabricante

Schneider e operam em temperaturas entre 40°C e 65°C de acordo com a capacidade nominal, tendo como base a norma ABNT NBR IEC 60947-2.

Na Figura 2 podemos conferir uma imagem termográfica realizada em um disjuntor termomagnético. A temperatura 26.2°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 25.8°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 2: Imagem termográfica de disjuntores termomagnéticos.



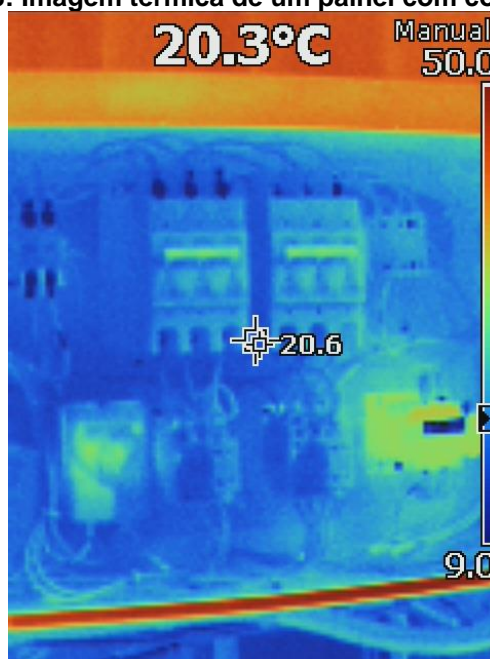
Fonte: Do autor.

3.1.3 Contatores

Os contatores são dispositivos eletromecânicos utilizados para acionamento de equipamentos elétricos que podem ser dos mais variados tipos como: motores, bombas, resistências, lâmpadas etc. Os contatores que foram analisados termicamente no decorrer deste projeto são do fabricante WEG linha CWM e, portanto, foram utilizados com base os dados técnicos passados através do catálogo do fabricante para análise da criticidade da temperatura encontrada. Nos equipamentos dessa linha, a temperatura de trabalho está entre -25°C e 55°C.

A Figura 3 demonstra a imagem térmica de um contator analisado. A temperatura 20.3°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 20.6°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 3: Imagem térmica de um painel com contatores.

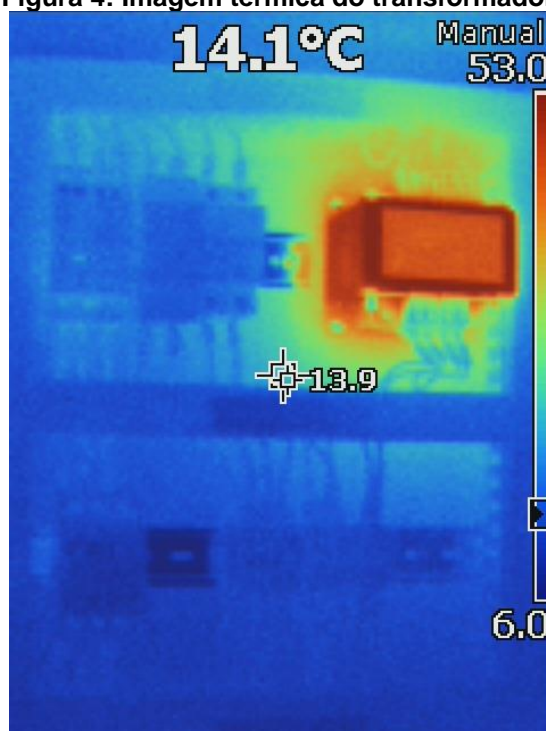


Fonte: Do autor.

3.1.4 Transformadores

Um ponto determinante na vida útil de um equipamento é o tipo de material isolante utilizado para sua construção. Pois no caso dos transformadores, o processo de envelhecimento varia em função da temperatura (o envelhecimento acelera com o aumento da temperatura) no enrolamento. (WINKERS, 2002).

Assim, pode se perceber a importância de uma análise precisa do comportamento das temperaturas internas. A elevação de temperatura nos enrolamentos internos do transformador, é definida em função das perdas, da disposição dos condutores. (FINOCCHIO, 2010). Na Figura 4 podemos ver um exemplo de transformador analisado termicamente através do termovisor. A temperatura 14.1°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 13.9°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 4: Imagem térmica do transformador.

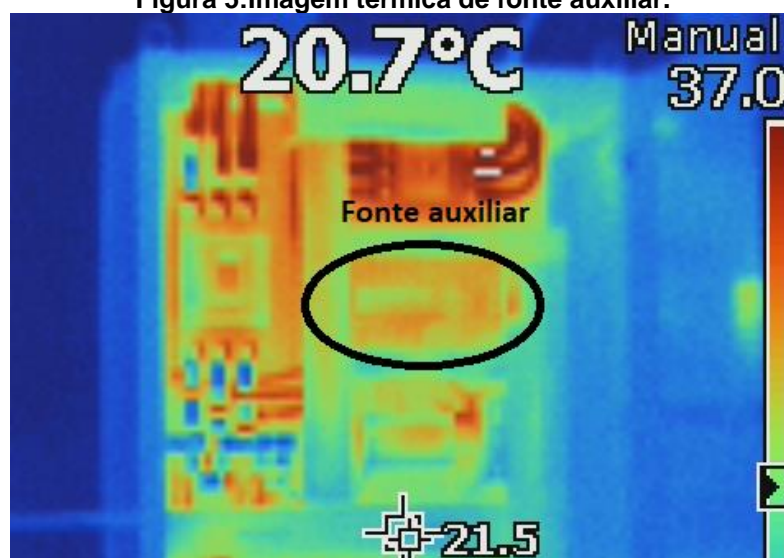
Fonte: Do autor.

3.1.5 Fontes auxiliares

As fontes auxiliares tratam se de equipamentos que transformam a tensão de 220AC para 24VDC que de acordo com a normas brasileiras deve ser a tensão de funcionamento do comando de painéis elétricos. As fontes analisadas são do fabricante Schneider e, de acordo com a tabela de dados técnicos fornecida pela Schneider as temperaturas de trabalho devem estar entre 0°C até 45°C se fator de degradação, e para temperatura entre 45°C e 60°C considera se um fator de degradação do equipamento, o que irá reduzir a vida útil do mesmo.

Na Figura 5 podemos ver a imagem térmica de uma fonte auxiliar. A temperatura 20.7°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 21.5°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 5: Imagem térmica de fonte auxiliar.



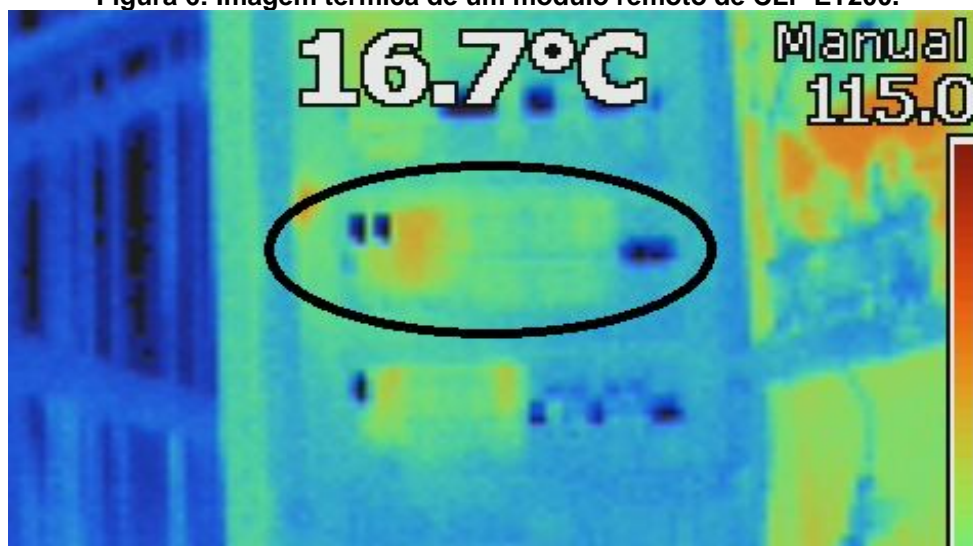
Fonte: Do autor

3.1.6 CLP's

CLP ou controlador lógico programável, é o equipamento responsável por gerenciar as informações do sistema e comandar as ações de correção a partir dos dados recebidos. Cada fabricante especifica a temperatura ideal para funcionamento dos CLP's de acordo com número e I/Os (entradas e saídas) e capacidade de processamento.

Um modelo analisado foi um módulo remoto do CLP, Marca Siemens modelo ET200, para o qual fabricante sugere que a temperatura do painel esteja sempre entre 0°C e 60°C. A Figura 6 mostra a imagem térmica do CLP Siemens ET200. A temperatura 16.7°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera.

Figura 6: Imagem térmica de um módulo remoto de CLP ET200.

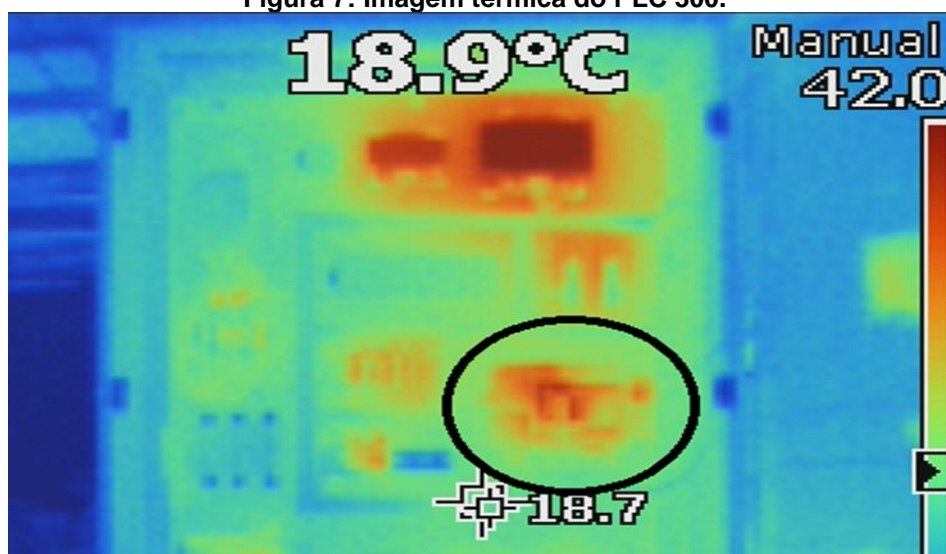


Fonte: Do autor.

Outro modelo de CLP que também passou pela análise termográfica é o modelo PLC300 da WEG. De acordo com o fabricante, esse equipamento deve operar numa faixa de temperatura que vai de 0°C à 50°C.

A Figura 7 demonstra a imagem térmica do PLC300. A temperatura 18.9°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 18.7°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 7: Imagem térmica do PLC 300.



Fonte: Do autor.

3.2 EQUIPAMENTO UTILIZADO

Levando em conta todos os pontos abordados anteriormente, foi utilizada para execução do projeto o termovisor da marca Fluke, modelo Ti 110. O Quadro 2 mostra as especificações desse equipamento utilizando dados fornecidos pelo fabricante.

Quadro 2: Características do equipamento utilizado

Característica	Valor
Resolução	160 x 120
Sensibilidade térmica	<100 mK (0.1°C a cada 30°C)
Precisão	Mais ou menos 2% ou 2 °C (o que for maior)
Comprimento de onda	8 µm a 14 µm (ondas longas)
Campo de visão	31° x 22,5°
Resolução Especial (iFOV)	3,39mRad
Distância mínima de foco (mFOV)	15cm
Frame Rate	9Hz

Fonte: Fluke.

3.3 PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DAS MEDIÇÕES

Para determinar qual a melhor data para realização da inspeção termográfica nos painéis, foi utilizada a metodologia PDCA, levando em conta alguns pontos importantes como carga atual do painel, tempo de execução, tempo para elaboração do relatório.

É necessário para uma análise térmica fiel à realidade do equipamento, que o painel elétrico esteja com pelo menos 30% de sua carga total no momento da inspeção, e que esteja operando a no mínimo duas horas. Desse modo, a análise não poderá ser realizada caso o painel esteja desligado, ou caso o painel seja ligado apenas na hora da inspeção.

O tempo de execução da inspeção por painel varia de acordo com o tamanho e tipo do painel, além de sua característica construtiva, pois em alguns equipamentos é necessário a remoção das proteções em acrílico, presente sobre os barramentos.

Por fim, o tempo para inclusão de cada painel elétrico inspecionado no relatório é muito semelhante, levando em conta que o formato e quantidade de informações mostradas é o mesmo para todos os equipamentos.

O Quadro 3 mostra o plano de ação elaborado com base nos métodos PDCA e 5W1H.

Quadro 3: Plano de ação 5W1H.

Plano de ação						
	<i>What</i> (O que)	<i>Who</i> (quem)	<i>When</i> (quando)	<i>Where</i> (onde)	<i>Why</i> (porque)	<i>How</i> (como)
<i>Plan</i> (plano)	Levantamento dos painéis a serem analisados	Lucas	16/ago	Empresa	Para conhecer o número de painéis a serem analisados	Verificar no checklist de preventiva da empresa e criar lista de painéis elétricos.
	Definir data e hora para execução	Lucas	07/set	Empresa	Para execução da inspeção	Verificar necessidades de produção e projetar a carga dos painéis na data de execução
<i>Do</i> (realização)	Realizar a inspeção	Lucas	03/out	Empresa	Para conhecer o estado atual do painel	Inspeccionar painéis
<i>Check</i> (verificação)	Analisar os dados obtidos	Lucas	19/out	Empresa	Para conhecer o estado atual do painel	Analisar as imagens térmicas salvas no termovisor
	Elaborar relatório da inspeção termográfica	Lucas	27/out	Empresa	Para documentar a inspeção	Através dos dados adquiridos nas imagens térmicas, elaborar um relatório, apontando possíveis correções necessárias e uma visão geral sobre o estado do painel
<i>Act</i> (ação)	Propor a inclusão da inspeção termográfica no plano de manutenção preditiva anual	Lucas	07/nov	Empresa	Para manter o monitoramento dos painéis elétricos	Sugerir a inclusão da inspeção no plano preditivo anual

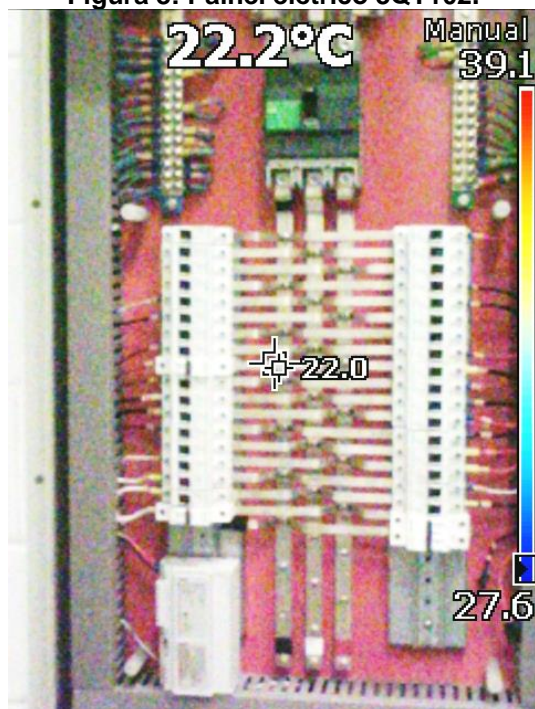
Fonte: Do autor.

3.4 MEDIÇÕES REALIZADAS COM O TERMOVISOR

O painel 3QT102 está localizado em uma sala elétrica do prédio administrativo, onde estão instalados os disjuntores de distribuição do prédio. Durante a termografia, foi constatado um ponto aquecido, medindo 79,2°C, no terminal de conexão do disjuntor Q51. A Figura 8 mostra o painel 3QT102. A temperatura 22.2°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 22.0°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

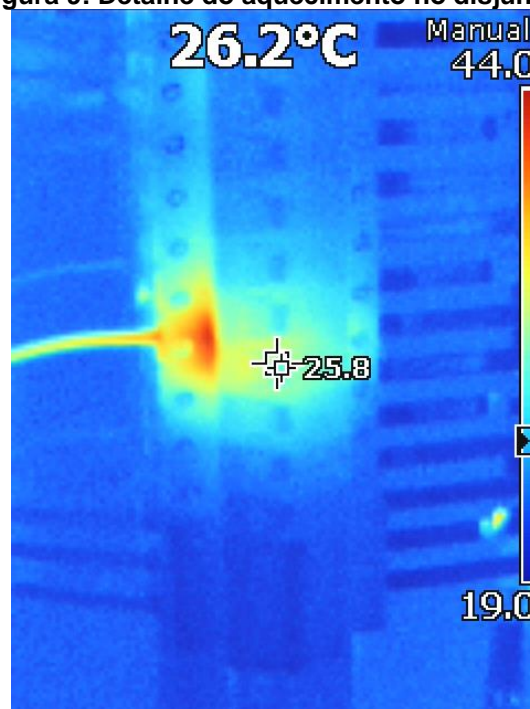
A Figura 9 demonstra o detalhe do aquecimento no disjuntor. A temperatura 26.2°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 25.8°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 8: Painel elétrico 3QT102.



Fonte: Do autor.

Figura 9: Detalhe do aquecimento no disjuntor.



Fonte: Do autor

A causa desse aquecimento foi a aplicação de um torque inadequado na conexão do disjuntor, que acarretou na deterioração do terminal e isolamento do cabo elétrico. Foi realizada a medição da corrente no disjuntor e a mesma apresentou um comportamento dentro dos limites do equipamento, descartando se assim a hipótese de sobrecarga no circuito.

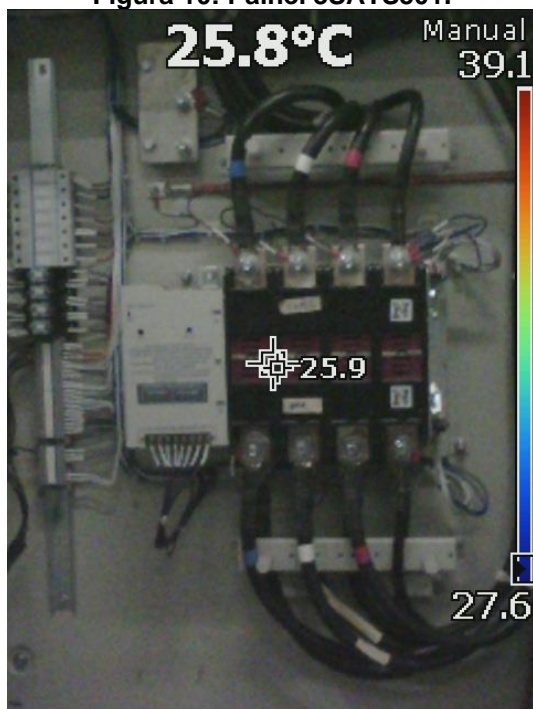
A partir dessa análise, a ação tomada foi a remoção da parte deteriorada do cabo elétrico, a troca do terminal de conexão do cabo e a aplicação do torque correto no disjuntor.

A análise termográfica apresentou também um ponto de aquecimento em uma chave de transferência de carga entre a linha da concessionária de energia elétrica e o gerador da empresa. Nesse caso, o condutor elétrico estava apresentando uma temperatura de 75°C no conector da fase T da linha de energia da concessionária.

A Figura 10 mostra o painel 3SATS501, que contém a chave de transferência instalada. A temperatura 25.8°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 25.9°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

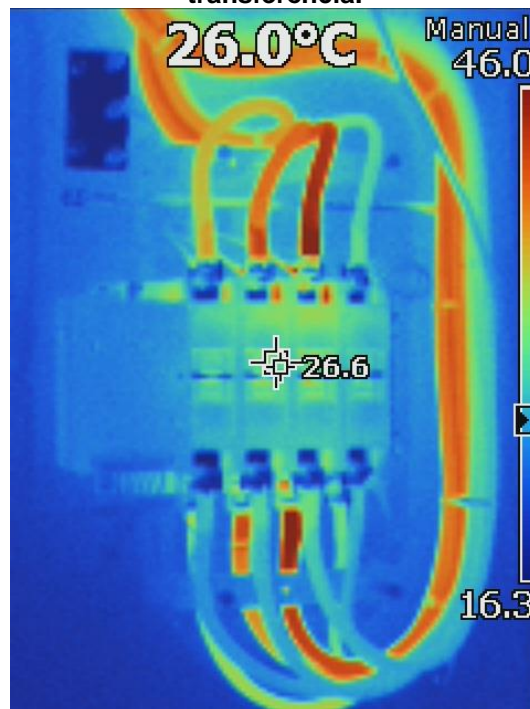
A Figura 11 exemplifica o condutor aquecido da chave de transferência. A temperatura 26.0°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 26.6°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 10: Painel 3SATS501.



Fonte: Do autor.

Figura 11: Imagem térmica da chave de transferência.



Fonte: Do autor.

Após a análise térmica, a medição de corrente elétrica demonstrou que o sistema está balanceado, não tendo problemas com relação a sobrecarga de corrente em alguma das fases. Partindo disso, tomou-se como ação o reaperto do terminal da chave de transferência e solicitada uma nova inspeção durante o próximo teste de transferência de carga do gerador.

Outro ponto que passou pela análise termográfica foi o painel 3CAP501, onde está instalado o banco de capacitores para correção de fator de potência de parte da fábrica. Foi encontrada no capacitor C1 a temperatura de 76,3°C em sua conexão de

alimentação. A Figura 12 mostra o detalhe do painel 3CAP501. A temperatura 22.0°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 20.9°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

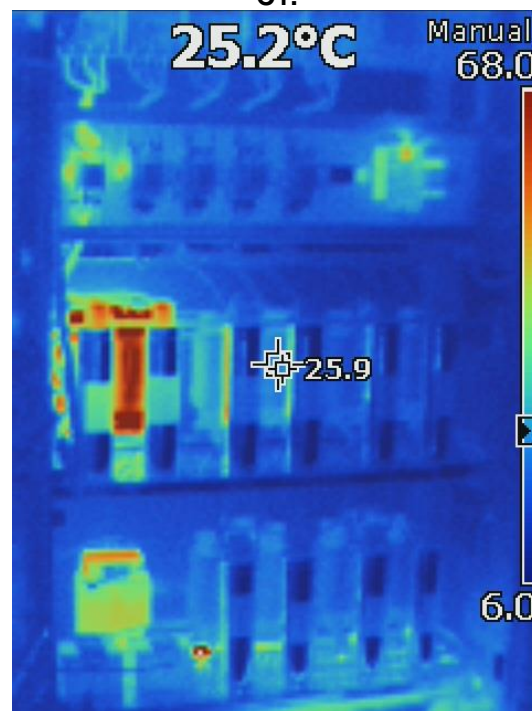
A Figura 13 mostra o detalhe do aquecimento no capacitor C1. A temperatura 25.2°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 25.9°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 12: Detalhe do painel 3CAP501.



Fonte: Do autor.

Figura 13: Detalhe do aquecimento no capacitor C1.



Fonte: Do autor.

A ação corretiva realizada foi a verificação da condição do conector do capacitor, inspeção dos terminais do cabo elétrico e reaperto dos terminais, aplicando o torque especificado pelo fabricante.

Outro equipamento que passou pela inspeção termográfica foi um retificador de tensão, equipamento responsável por alimentar com 125Vcc a tensão de comando dos cubículos de média tensão (13,8 kV) da subestação. Foi encontrada em sua placa de controle de carga, chamada de UCQ, a temperatura de 145,1°C. Na Figura 14 podemos ver o retificador. A temperatura 35.0°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 34.4°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

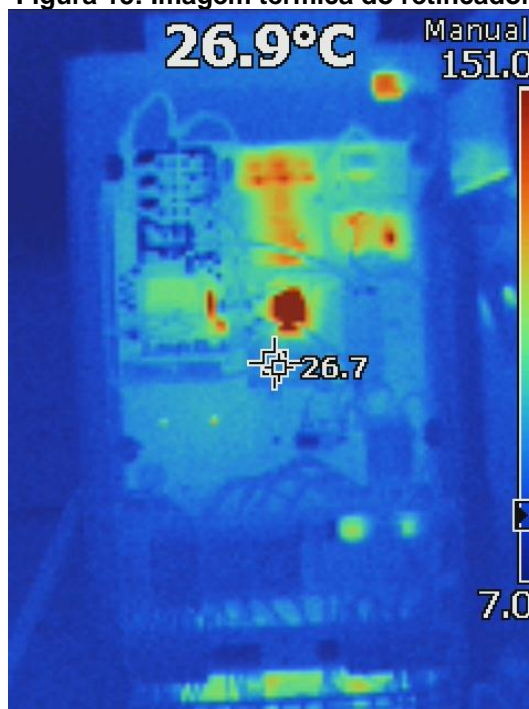
A Figura 15 mostra a imagem térmica do retificador. A temperatura 26.9°C se refere a uma média da temperatura na tela da câmera e a temperatura 26.7°C é a temperatura medida no ponto central da imagem.

Figura 14: Painel do retificador de tensão.



Fonte: Do autor.

Figura 15: Imagem térmica do retificador



Fonte: Do autor.

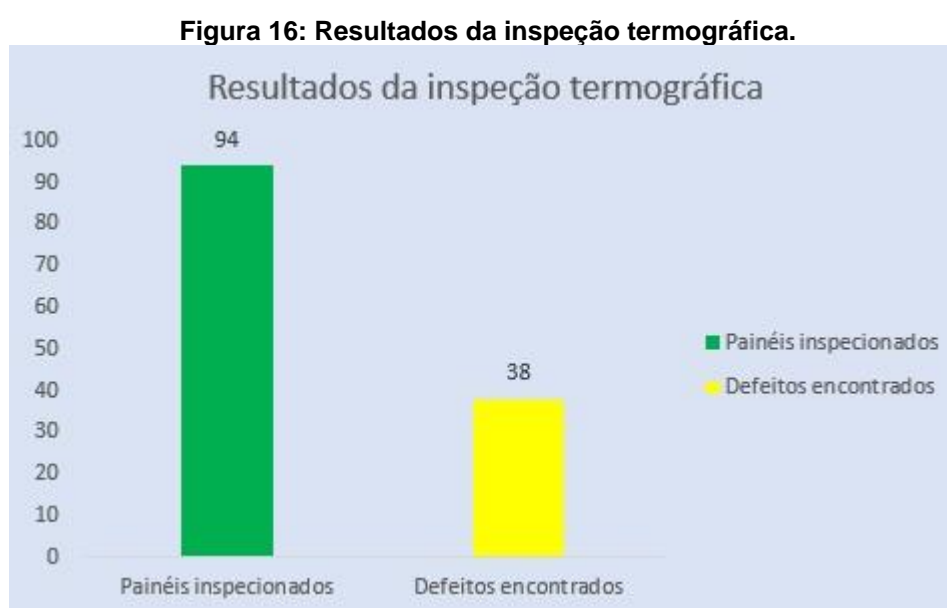
Devido à alta criticidade desse equipamento, a ação de correção foi imediata, realizando se então a troca de unidade UCQ.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS DADOS

Passaram pela inspeção termográfica um total de 94 painéis elétricos de diversos tipos, painéis de alimentação de circuito de tomadas, de iluminação, Nobreaks, chaves de transferência, CCMs (centro de controle de motores), transformadores, retificadores, painéis com inversores de frequência e CLP, painéis controladores de nível e pressão, compressores de ar, secadores, equipamentos de ar condicionado e o painel de um *chiller*.

Do total de equipamentos inspecionados, foram encontradas 38 anomalias, dando um percentual de 40,42 % de painéis elétricos com problemas relacionados a aquecimentos de componentes. Na Figura 16 pode-se conferir o gráfico elaborado a partir dos dados da análise termográfica.



Fonte: Do autor.

3.6 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DA INSPEÇÃO;

Uma vez que foi realizada a avaliação térmica dos painéis elétricos, foi elaborado um relatório, com o objetivo de documentar os dados obtidos através das análises, deixando essas informações mais acessíveis para planejamentos de manutenções corretivas e de novas análises termográficas. O relatório foi elaborado em cima do modelo fornecido pelo fabricante do termovisor, apenas sendo alterados os dados referentes à empresa. Na Figura 17 podemos conferir o modelo do relatório utilizado.

Figura 17: Modelo de relatório utilizado.

Logotipo da Empresa	Equipamento: Painel Elétrico TAG: Localização: D	
Imagem Visual	Imagem Termográfica	
Data: 05/01/2018 Temperatura Ambiente: 20°C Carga: 100%		
Informações sobre o equipamento Defeito: Não encontrado. Tipo de componente: N/a Parte: N/a	Temperatura encontradas Temp. Máxima: 20.3 °C Fase R: 20.1 °C Fase S: 19.8 °C Fase T: 20.3 °C	
Recomendações/Resumo de ações <ul style="list-style-type: none"> • 		

Fonte: Do autor

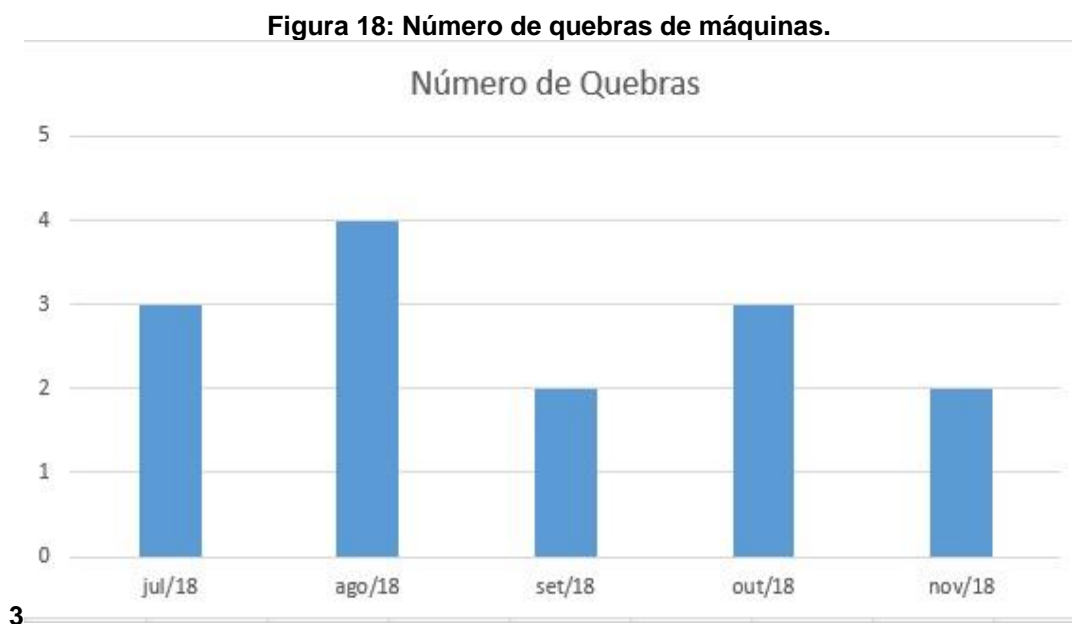
Após o desenvolvimento do projeto para execução das medições termográficas, obteve-se uma melhora significativamente no diagnóstico de falhas, causada pela antecipação das quebras. Com isso o tempo de paradas emergências de linha devido a falhas de equipamentos foi reduzido.

Verificou-se também a melhora na disponibilidade de máquinas, pois tendo realizada uma análise térmica em seus painéis de alimentação, a qualidade de energia entregue para a operação desses equipamentos tem sua qualidade aumentada.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram analisados utilizando-se de uma forma gráfica. O primeiro ponto é o número de quebras, ou seja, paradas emergenciais de linha por quebra de máquinas. Nota-se que após a realização da análise termográfica, esse número manteve-se praticamente constante, o que demonstra que a maior parte das manutenções corretivas não planejadas nas máquinas não derivam de problemas térmicos dos painéis de alimentação.

A Figura 18 mostra o gráfico de análise de quebras, relacionando os meses anteriores à implementação do projeto, julho a agosto, e os meses de outubro e novembro, posteriores à inspeção.



Fonte: Do autor.

A inspeção termográfica foi realizada em um total de 94 painéis elétricos na planta, que possuem finalidades distintas, e são compostos de diversos componentes elétricos com disjuntores, contatores, capacitores, barramentos de alimentação,

chaves de transferências, retificadores, fontes chaveadas, CLP's, inversores de frequência, IHMs, transformadores e placas eletrônicas.

Cada um desses componentes possuem uma temperatura ideal para trabalho, na qual o equipamento terá sua vida útil mantida. Os valores variam nas faixas de -25°C a 55°C para contadores por exemplo e estão entre 0°C e 90°C para os transformadores analisados.

Quando encontrada alguma divergência nos valores solicitados pelo fabricante para o funcionamento pleno do equipamento, foi indicada qual a ação de correção que deveria ser adotada e com qual criticidade deve ser tratado o defeito, de acordo com a variação de temperatura e criticidade do equipamento.

A Quadro 4 mostra uma tabela com os resultados obtidos através das imagens termográficas.

Quadro 4: Dados obtidos das medições.

Componentes	Temperatura ideal	Temperatura máxima encontrada	Ação
Disjuntores	40°C a 65°C	79,2°C	Imediata
Contadores	"-25°C a 55°C	43,9°C	N/A
Capacitores	"-25°C a 55°C	76,3°C	Imediata
Barramentos	0°C a 90°C	44,2°C	N/A
Chaves de transferência	"-25°C a 55°C	75,0°C	Imediata
Retificadores	"-25°C a 90°C	145,1°C	Imediata
Fontes chaveadas	0°C a 45°C	44,2°C	N/A
CLP	0°C a 50°C	20,6°C	N/A
Inversor de frequência	0°C a 40°C	32,1°C	N/A
IHM	0°C a 50°C	22,7°C	N/A
Transformadores	0°C a 90°C	77,0°C	N/A
Placas eletrônicas	0°C a 45°C	23,7°C	N/A

Fonte: Do autor.

5 CONCLUSÃO

Após o término desse projeto, foi verificado que, com a aquisição de um software para edição de imagens fornecido pelo fabricante da câmera, é possível conseguir uma melhora significativa na qualidade das imagens térmicas finais utilizadas na elaboração do projeto.

Esse projeto proporcionou um crescimento em diversos aspectos, como conhecimento técnico para especificação do termovisor, para realização das medições, que exigiram conhecimentos de termodinâmica, elétrica e segurança do trabalho, além da melhora com metodologia de planejamento e gestão de atividades.

Além disso, outro ponto que causou um grande desenvolvimento foi a convivência e interação diária com diversas áreas de atuação diferentes, como produção, manutenção, engenharia, o que contribui para o aumento da percepção de falhas potenciais.

Outro item que pode ser realizada para manter e melhorar os resultados obtidos, e a inclusão da termografia no plano de manutenção preditiva anual, além de aumentar a abrangência do trabalho para os demais painéis e drivers da planta.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15572. **Ensaios não destrutivos – Termografia por infravermelho**. Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos; Abril. 2008.
- CABRAL. Lucas G. **Aplicação da termografia na manutenção preditiva**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF fluminense. 2010.
- COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 2013.
- COSTA. Augusto H. **Manutenção preditiva**. Universidade Estadual Paulista. UNESP. 2010.
- Engeletrica. **Termografia**. Disponível em: <http://www.engeletrica.bom.br/eng_termografia.htm>. Acesso em: 05 de setembro de 2018.
- FINOCCHIO, Marco A. Ferreira. **Determinação da temperatura de enrolamentos de transformadores a seco e de suas perdas totais baseados em redes neurais artificiais**. Universidade Estadual de Londrina. 2010.
- FRAGA, Anderson S. **Ensaios não destrutivos – Termografia**. Faculdades integradas de São Paulo. São Paulo. 2009.
- Infraspection Institute. **Standard for infrared inspection of electrical systems & rotating equipment**. Infraspection Institute. 2008.
- INGRACIO. Marco A. **Manutenção preditiva – Termografia**. Crea Digital. Porto Alegre. 2010.
- WINKERS, John J, Jr. **Power transformers principles and application**; Marcel Dekker, Inc; N. York; 2002.
- JÚNIOR. Helso F. **Uso da termografia na inspeção preditiva**. Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. 2010.
- KERSUL. Guilherme M. **Uso da termografia para inspeções e manutenção predial – Estudo de caso**. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. FATECS. Brasília. 2014.
- LIMA, Francisco Assis de. Castilho, João Carlos Nogueira de. **Aspectos de manutenção dos equipamentos científicos da Universidade de Brasília**. Universidade de Brasília. Brasília. 2006.
- MEDEIROS. Rafaela de Carvalho M. **Emprego da termografia na inspeção preditiva**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. 2012.

MORO, Norberto. **Gestão da manutenção**. Centro Federal de Educação. Florianópolis. 2007.

NEWPORT, Ron. **Electrical system reliability utilizing thermography**. Newport Solutions. 2002.

OKRASA, Richard. **Preventive maintenance handbook**. Second Edition, Ontario Hydro. Dezembro, 1997.

PEREIRA, Pedro M. **Planos de manutenção preventiva**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2009.

PINTO, C. V. **Organização e Gestão de manutenção**. 2ª ed. Lisboa: Monitor, 2002.

UFRJ. **Princípios de instrumentação biomédica**. UFRJ. 2015.

VERRATI, Atilio Bruno. **Sistema básico de inspeção termográfica**. Disponível em www.ebah.com.br/login?redirect=/content/ABAAAxCeAE/programa-tpm-8-pilares-manutencao. Acesso em 05 de setembro de 2018.